

УДК 629.78

Оптимизация перелетов космического аппарата с двигательной установкой малой тяги между некомпланарными эллиптическими орбитами

Коломиец Ева Сергеевна^{1(*)}

kolomieteses@student.bmstu.ru

Кирилюк Елена Владимировна^{1,2}

kiriliuk_e@bmstu.ru

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия² НИЦ ФГБУ «ЦНИИ ВКС» Минобороны России, Королев, Московская обл., Россия

Аннотация. Рассматривается задача оптимизации межорбитального перелета космического аппарата с двигательной установкой малой тяги между некомпланарными эллиптическими орбитами в центральном гравитационном поле. С помощью принципа максимума Понтрягина данная оптимизационная задача сводится к краевой. Для решения сформулированных краевых задач и нахождения глобально оптимального решения в постановке с ограничением на угловую дальность перелета предложено использование метода внутренней точки.

Ключевые слова: принцип максимума Понтрягина, малая тяга, задача быстродействия, метод внутренней точки, глобальная оптимальность

Введение. Электрореактивные двигательные установки (ЭРДУ) стали активно применяться для задач довыведения космических аппаратов (КА) на целевые орбиты с 1990-х годов. К настоящему времени реализовано достаточно много успешных миссий с использованием схемы Спитцера [1], дальнейшее развитие применения ЭРДУ в качестве маршевой двигательной установки может повлечь необходимость использования более сложных законов управления.

В работе рассматривается оптимальный закон управления вектором тяги, полученный с применением принципа максимума Понтрягина, позволяющего свести задачу оптимизации к краевой задаче для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Рассматриваются два критерия качества: минимум затрат массы рабочего тела (при заданном времени перелета) и минимум времени перелета.

Материалы и методы; результаты. Для уменьшения неустойчивости системы ОДУ и решения краевой задачи применяются: метод осреднения [1], аппарат дуальных чисел совместно с методами продолжения и комплексного шага [2]. В данной работе используется метод внутренней точки [3]. Получено решение задачи быстродействия для перелета КА между высокоэллиптическими орбитами (ВЭО), также решена задача оптимального перелета с ВЭО на ГСО в постановке «точка-орбита» при ограничении на время перелета. Решение последней задачи представляет собой локальный минимум, для получения глобального минимума в общем случае необходимо варьирование

угловой дальности перелета, т. е. решение серии краевых задач для постановки «точка-точка». Для уменьшения неустойчивости системы ОДУ в работе [2] применялся метод, основанный на гомотопии между задачей с ограниченной мощностью и ограниченной тягой (ОТ). В настоящей работе глобальный минимум для постановки ОТ был получен с применением метода внутренней точки.

Заключение. В работе было получено решение задачи оптимизации межорбитального перелета между ВЭО по критерию минимума времени перелета, а также получено глобально оптимальное решение для задачи с ограничением на время перелета с помощью метода внутренней точки. Проведен анализ влияния параметров начальной орбиты перелета на характеристики траектории перелета.

Список источников

- [1] Петухов В.Г. *Оптимизация траекторий космических аппаратов с электроракетными двигательными установками методом продолжения*. Дис. ... д-ра техн. наук. Москва, МАИ, 2013, 343 с.
- [2] Николичев И.А. *Оптимизация многовиткового межорбитального перелета космического аппарата с электроракетной двигательной установкой с учетом действия возмущений*. Дис. ... д-ра техн. наук. Москва, МАИ, 2017, 283 с.
- [3] Овчинников М.Ю. и др. Миссия к Марсу на базе универсальной малогабаритной платформы с ЭРДУ. *Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша*, 2024, № 44, 32 с.